

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-051354

(43)Date of publication of application : 25.02.1994

(51)Int.Cl.

G02F 1/313

(21)Application number : 04-202425

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

(22)Date of filing : 29.07.1992

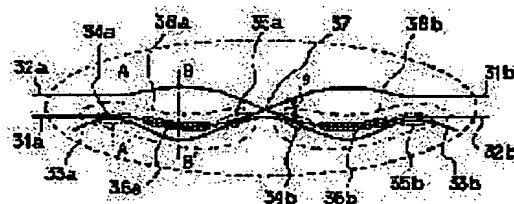
(72)Inventor : KAWACHI MASAO  
OKUNO MASAYUKI  
KATO KUNIHARU  
KATO KATSUMI

## (54) WAVEGUIDE TYPE MATRIX OPTICAL SWITCH

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain the optical switch which is tolerant to the coupling rate setting error of a directional coupler and has a superior extinction ratio by composing an optical switch element of three optical waveguides, i.e., by-pass optical waveguides in addition to input optical waveguides and output optical waveguides and including two Mach-Zehnder optical interferometer circuits which have an optical path length difference equivalent to a  $1/2$  wavelength in an OFF state in the optical waveguide element.

**CONSTITUTION:** Parts of the by-pass optical waveguides 33a and 33b come close to the input waveguides 31a and 31b at two places to constitute two directional couplers 34a and 35a. Similarly, other parts of the by-pass optical waveguides 33a and 33b come close to the output optical waveguides 32a and 32b at two places to constitute two directional couplers 34b and 35b. Then the 1st and 2nd Mach-Zehnder optical interference circuits 38a and 38b which have the optical path length difference of  $1/2$  wavelength in the OFF state are provided. Therefore, the two couples of directional couplers 34a and 35a, and 34b and 35b are coupled in mutually opposite-phase relation to each other and their coupling operations cancel each other.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.08.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3041825

[Date of registration] 10.03.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3041825号

(P3041825)

(45)発行日 平成12年 5 月15日 (2000. 5. 15)

(24)登録日 平成12年 3 月10日 (2000. 3. 10)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

G 0 2 F 1/313

G 0 2 F 1/313

請求項の数 2 (全 10 頁)

(21)出願番号	特願平4-202425	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号
(22)出願日	平成 4 年 7 月29日 (1992. 7. 29)	(72)発明者	河内 正夫 東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日本電信電話株式会社内
(65)公開番号	特開平6-51354	(72)発明者	奥野 将之 東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日本電信電話株式会社内
(43)公開日	平成 6 年 2 月25日 (1994. 2. 25)	(72)発明者	加藤 邦治 東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	平成10年 8 月25日 (1998. 8. 25)	(74)代理人	100083552 弁理士 秋田 収喜
		審査官	日夏 貴史

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 導波路型マトリックス光スイッチ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上で互いに交差する M (整数) 本の入力光導波路と N (整数) 本の出力光導波路とから成るマトリックス状導波路と、前記マトリックス状導波路の M×N 個の交差点近傍に形成された M×N 個の光スイッチ要素とからなる導波路型マトリックス光スイッチにおいて、前記各光スイッチ要素を、互いに交差する前記入力光導波路と出力光導波路にバイパス光導波路を加えた 3 本の光導波路を基本として構成し、前記バイパス光導波路の一部を、前記入力光導波路と 2 箇所近接させ 2 個の方向性結合器とし、該 2 個の方向性結合器間の入力光導波路とバイパス光導波路の少なくとも一方に光位相シフタを設けて第 1 のマッハツェンダ型光干渉計回路を構成し、かつ、前記バイパス光導波路の別の一部を、前記出力光導波路と 2 箇所近接させ 2 個の方向性結合器

とし、該 2 個の方向性結合器間の出力光導波路とバイパス光導波路の少なくとも一方に光位相シフタを設けて第 2 のマッハツェンダ型光干渉計回路を構成し、第 1 及び第 2 のマッハツェンダ型光干渉計回路を構成する各 2 個の方向性結合器間の各 2 本の光導波路の実効光路長差がスイッチオフの状態で信号光波長の 2 分の 1 にそれぞれ設定されていることを特徴とする導波路型マトリックス光スイッチ。

【請求項 2】 前記の一連の光導波路がガラス光導波路であり、前記光位相シフタが薄膜ヒータから成る熱光学効果位相シフタであり、M 本の入力光導波路と N 本の出力光導波路とが 20 度以上の交差角をもって交差していることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型マトリックス光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信分野等で用いる導波路型マトリックス光スイッチに関するものであり、さらに詳細には、作製誤差に強く消光比の優れた導波路型マトリックス光スイッチ構成に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信の一層の普及のためには、光ファイバと受・発光素子の高性能化、低価格化に加えて、光分岐結合器、光合分波器、光スイッチ等の各種光回路部品の開発が不可欠な段階にきている。なかでも、光スイッチは、光ファイバ回線を需要に応じて自在に切り替えたり、回線故障の際の迂回路の確保のために、近い将来、重要な役割を占めると考えられる。

【0003】光スイッチの構成形態としては、従来から、1) バルク型、2) 導波路型が提案されている。バルク型は、可動プリズムやレンズ等を構成要素として組み立てられたもので、波長依存性が少なく、比較的低損失という利点があるが、しかし、組立調整工程が煩雑であり、量産に適さず高価格という欠点があり、大きく普及するに至っていない。導波路型は、平面基板上の光導波路を基本としている。そして、フォトリソグラフィや微細加工技術を利用して、いわゆる集積型の光スイッチを一括大量生産しようとするもので、将来型の光スイッチ形態とて期待されている。特に、M (整数) 本の入力ポートとN (整数) 本の出力ポートを持つ比較的規模の大きい ( $M \times N$ ) マトリックス光スイッチを現実的に構成可能な形態は導波路型において他にないと期待されている。

【0004】図7は、本発明の対象とする従来の ( $M \times N$ ) マトリックス光スイッチの一例としての ( $4 \times 4$ ) 光スイッチの構成を示す概念図である。この ( $4 \times 4$ ) スwitchは見かけ上、4本の入力光導波路1a, 1b, 1c, 1dと4本の出力光導波路2a, 2b, 2c, 2dが  $4 \times 4 = 16$  箇所 で交差する構成を持ち、16箇所の交差部には、光スイッチの最小単位としての ( $2 \times 2$ ) 光スイッチ要素S00、…、S33が配置されている。このようなマトリックス光スイッチ構成は「厳密にノンブロッキングなマトリックス光スイッチ」と呼ばれ、入力光導波路1a, 1b, 1c, 1dに inputs する4チャンネルの信号光の光路を4本の出力光導波路2a, 2b, 2c, 2dに振り分けることができる。

【0005】従来から様々な材料系の光導波路を用いて上記のマトリックス光スイッチを構成する試みがなされているが、なかでもシリコン基板上の石英系光導波路の熱光学効果を活用した熱光学式マトリックス光スイッチは、不都合な偏波依存性が無く、光ファイバとの接続性にも優れていることから実用的なマトリックス光スイッチの有力候補として期待されている。

【0006】図8A及び図8Bは、図7に例示した ( $4 \times 4$ ) マトリックス光スイッチ構成概念図に対応してシ

リコン基板上に作製された従来の熱光学式 ( $4 \times 4$ ) マトリックス光スイッチの構成図であり、図8Aは全体平面配置図、図8Bは光スイッチ要素の拡大平面図である。図8A及び図8Bにおいては、4本の入力光導波路1a, 1b, 1c, 1dを含む8本の光導波路が入力側導波路束4aを構成し、4本の出力光導波路2a, 2b, 2c, 2dを含む8本の光導波路が出力側導波路束4bを構成しているが、図8Aの実配置が図7の構成概念図とトポロジ的に等価であることが容易に理解される。

【0007】これらの導波路束4a-4bは、火炎加水分解反応堆積法と反応性イオンエッチング技術との公知の組合せによりシリコン基板3上に形成された石英系単一モード光導波路列である。16箇所に配置された光スイッチ要素S00、…、S33のそれぞれは、図8Bに示したように、いわゆるマッハツェンダ光干渉計回路型の ( $2 \times 2$ ) 光スイッチ構成を有している。すなわち、2本の光導波路71a-71b及び72a-72bの一部は2箇所 で互いに近接し方向性結合器73a及び73bを構成している。それらの光結合率は信号光波長において50%になるように設定されている。方向性結合器73a, 73bの間を連結する2本の光導波路71a-71b及び72a-72bの光路長は、該2本の光導波路途上に位置する薄膜ヒータからなる熱光学位相シフタ74a及び74bを動作させない状態で同一 (対称) になるように設定されている。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記のオフ状態 (薄膜ヒータ無通電) では、信号光は光スイッチ要素を (71a→72b, 72a→71b) 経路、すなわちクロス経路、で通過する。ところが、方向性結合器73a及び73bの間の導波路に180度 ( $\pi$ ラジアン) の光位相に相当する  $1/2$  波長近傍の光路長差が生じるように熱光学位相シフタ74a, 74bの少なくとも一方を動作 (薄膜ヒータに通電) させオン状態とすると、信号光は光スイッチ要素を (71a→71b, 72a→72b) 経路、すなわちバー経路、で通過するように切り替わり、 ( $2 \times 2$ ) 光スイッチ要素としてのクロス・バー切り替え動作が達成される。しかし、このような ( $2 \times 2$ ) 光スイッチ要素を基本単位とする従来の導波路型マトリックスには、次のような製作上の大きな問題点があった。

【0009】上述した図8Bのマッハツェンダ光干渉計回路型光スイッチ要素が理想的に動作するためには、構成要素である方向性結合器73aと73bの結合率が信号光波長においては正確に50%であることが必須条件であるが、実際の光導波路作製プロセスは多少の誤差を含み、結合率を正確50%に設定することが困難という製作上の事情があった。これは、方向性結合器73a, 73bが、極めて構造敏感な光素子であり、光導波路幅

や光導波路間隔、さらには光導波路のコア・クラッド間の比屈折率差等の僅かのプロセス誤差により結合率が変動し易いためであった。

【0010】方向性結合器73a, 73bの結合率が50%からずれた場合には、オフ状態において、信号光は(71a→72b, 72a→71b)経路(クロス経路)を100%通過せず、(71a→71b, 72a→72b)経路(バー経路)に漏れ出すことになり、このいわゆる光漏話の存在が導波路型マトリックス光スイッチ作製上の大きな問題点となっていた。

【0011】例えば、結合率が50%から大きい方に55%程度に、あるいは小さい方に45%程度にずれると各光スイッチ要素は、オフ状態で(71a→71b, 72a→72b)経路(バー経路)に信号光強度の1%が漏れを伴い、図8Aの(4×4)マトリックス光スイッチ構成では、最終的に15dB程度の消光比しか得られなかった。この事情はマトリックス規模が大きくなるほど深刻になり、例えば(8×8)マトリックス光スイッチでは最終的に11dB程度の消光比にまで漏話特性が劣化してしまうという問題があった。

【0012】方向性結合器の結合率設定が実際の光導波路製造プロセスにおいて、50%±5%程度、場合によっては50%±10%程度もの誤差を伴うことは往々であり、導波路型マトリックス光スイッチの上述の結合率敏感性は、歩留り良く光スイッチを製作する上での最大の障害となっていた。

【0013】本発明は、前記問題点を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、方向性結合器の結合率設定誤差に強く消光比の優れた導波路型マトリックス光スイッチを提供することにある。

【0014】本発明の前記ならびにその他の目的及び新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

【0015】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために、本発明は、基板上で互いに交差するM(整数)本の入力光導波路とN(整数)本の出力光導波路とから成るマトリックス状導波路と、前記マトリックス状態波路のM×N個の交差部近傍に形成されたM×N個の光スイッチ要素とからなる導波路型マトリックス光スイッチにおいて、前記各光スイッチ要素を、互いに交差する前記入力光導波路と出力光導波路にバイパス光導波路を加えた3本の光導波路を基本として構成し、前記バイパス光導波路の一部を、前記入力光導波路と2箇所で近接させ2個の方向性結合器とし、該2個の方向性結合器間の入力光導波路とバイパス光導波路の少なくとも一方に光位相シフタを設けて第1のマッハツェンダ型光干渉計回路を構成し、かつ、前記バイパス光導波路の別の一部を、前記出力光導波路と2箇所で近接させ2個の方向性結合器とし、該2個の方向性結合器間の出力光導波路とバイパ

ス光導波路の少なくとも一方に光位相シフタを設けて第2のマッハツェンダ型光干渉計回路を構成し、第1及び第2のマッハツェンダ型光干渉計回路を構成する各2個の方向性結合器間の各2本の光導波路の実効光路長差がスイッチオフの状態で信号光波長の2分の1にそれぞれ設定されていることを最も主要な特徴とする。

【0016】前記の一連の光導波路がガラス光導波路であり、前記光位相シフタが薄膜ヒータから成る熱光学効果位相シフタであり、M本の入力光導波路とN本の出力光導波路とが20度以上の交差角をもって交差していることを特徴とする。

【0017】

【作用】前述の手段によれば、光スイッチ要素を構成する第1のマッハツェンダ光干渉計回路の2個の方向性結合器間にオフ状態で2分の1波長の光路長差が設定されていることにより、入力光導波路を伝わる信号光は、方向性結合器の結合率に依らず、入力光導波路に留まった状態で第1のマッハツェンダ光干渉計回路を通過する。光スイッチ要素内で入力光導波路と出力光導波路とはクロストークを無視できる角度で互い交差しているので、信号光は、方向性結合器の結合率に依らずクロス経路で光スイッチ要素を通過することになる。

【0018】仮に、オフ状態で第1のマッハツェンダ光干渉計回路で入力光導波路からバイパス光導波路への僅かな漏れ(クロストーク)が生じて、第2のマッハツェンダ光干渉計回路もその2個の方向性結合器間にオフ状態で2分の1波長の光路長差が設定されているので、漏れ光は、バイパス光導波路に留まり出力光導波路へ漏れ出す信号光の割合は極少であり、製造誤差を伴う現実のマトリックス光スイッチ作製現場でも、オフ状態での入力光導波路から出力光導波路へのクロストークを極めて小さいレベルに維持できる。すなわち、本発明のマトリックス光スイッチは2重のゲート(閘門)を持つ光スイッチ要素から構成されていると見なすこともできる。

【0019】第1と第2マッハツェンダ光干渉計回路を構成する光導波路上に設けた光位相シフタを駆動し、前記の2分の1波長相当の光路長差を打ち消すと、信号光は入力光導波路からバイパス光導波路へ、さらにバイパス光導波路から出力光導波路へと導かれ、光スイッチ要素の状態をバー経路へと切り替えることができる。

【0020】本発明においては、方向性結合器の結合率が50%からずれても、オフ状態で2分の1波長の光路長差をもつマッハツェンダ光干渉計回路全体としての結合率は0%に維持されるので、入力光導波路からバイパス光導波路への光結合や、バイパス光導波路から出力光導波路への光結合は発生し難く、しかも第1と第2のマッハツェンダ光干渉計回路からなる2重の閘門で光漏話が抑制されているので、低クロストークすなわち高消光比を保証できるのである。

【0021】なお、方向性結合器の結合率が50%から

ずれた場合には、オン状態ですべての信号光をバー経路に切り替えることができず、クロス経路に信号光が僅かに残留するが、この残留光は出力側導波路束内の不用の導波路端へと導かれるので、マトリックス光スイッチとしての消光比劣化には結びつかない。

【0022】本発明の導波路型マトリックス光スイッチは、互いに交差する入力光導波路と出力光導波路にバイパス光導波路を加えた3本の光導波路で光スイッチ要素を構成し、しかも、光スイッチ要素が、オフ状態で2分の1波長相当の光路長差を有する2個のマッハツェンダ光干渉計回路を含む点で、従来のマトリックス光スイッチとは異なる。

【0023】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0024】以下の実施例では、光導波路としてシリコン基板上に形成した石英系単一モード光導波路を使用し、光スイッチ要素として熱光学式マッハツェンダ光干渉計回路型(2×2)光スイッチを採用したマトリックス光スイッチについて説明するが、これは、この組合せが、単一モード光ファイバとの接続性に優れ、しかも偏波依存性の無いマトリックス光スイッチを提供できるためであり、本発明は、これらの組合せに限定されるものではない。

【0025】(実施例1)図1A、図1B、図1Cは、本発明の導波路型マトリックス光スイッチの実施例1としての(4×4)マトリックス光スイッチを構成する光スイッチ要素の構成図であり、図1Aは平面図、図1B、図1Cはそれぞれ図1Aの線分AA'、BB'に沿った拡大断面図である。(4×4)マトリックス光スイッチの全体平面図は、図8Aと同一であるので図示を省略した。

【0026】光スイッチ要素は、シリコン基板21上で互いに交差する石英系ガラス入力光導波路31a-31bと石英系ガラス出力光導波路32a-32bに石英系ガラスバイパス光導波路33a-33bを加えた計3本の光導波路を基本として構成されている。

【0027】バイパス光導波路33a-33bの一部は、入力光導波路31a-31bに2箇所の間隔数 $\mu\text{m}$ にまで近接し2個の方向性結合器34a、35aを構成している(図1A、図1B)。方向性結合器34a、35aの結合率は、結合部の導波路間隔や長さの調節により50%を目標に設定されている。ここで、2個の方向性結合器34a、35aの間における入力光導波路31a-31bとバイパス光導波路33a-33bの実効光路長は、バイパス光導波路33a-33b側が信号光の波長(ここでは $1.3\mu\text{m}$ )の2分の1相当、すなわち、 $0.65\mu\text{m}$ だけ大きくするように設定されている。実効光路長が短い入力光導波路31a-31b側のクラッド層21b上部には、光位相シフタとしての薄膜

ヒータ36aが設置されている(図1C)。方向性結合器34aと35aとの間の領域は、光路長差2分の1波長の第1の弱非対称マッハツェンダ光干渉計回路38aを構成している。

【0028】同様に、バイパス光導波路33a-33bの別の一部は、出力光導波路32a-32bに2箇所の間隔数 $\mu\text{m}$ にまで近接し2個の方向性結合器34b、35bを構成している。方向性結合器34b、35bの結合率は、結合部の導波路間隔や長さの調節により、やはり50%を目標に設定されている。ここで、2個の方向性結合器34b、35bの間における出力光導波路32a-32bとバイパス光導波路33a-33bの実効光路長は、バイパス光導波路33a-33b側が信号光の波長(ここでは $1.3\mu\text{m}$ )の2分の1相当、すなわち、 $0.65\mu\text{m}$ だけ大きくするように設定されている。実効光路長が短い出力光導波路32a-32b側のクラッド層21b上部には、光位相シフタとしての薄膜ヒータ36bが設置されている。方向性結合器34bと35bとの間の領域は、光路長差2分の1波長の第2の弱非対称マッハツェンダ光干渉計回路38bを構成している。

【0029】光導波路31a-31bと32a-32bとは、交差部37においてクロストークを無視できる交差角度 $\theta$ で交差している。

【0030】薄膜ヒータ36a及び36bに通電しないオフ状態では、光導波路31a端から入力した信号光は、方向性結合器34a、35aから成る第1のマッハツェンダ光干渉計回路38aを、見かけ上、光導波路31a-31bに留まった状態で通過し、光導波路32a-32bとの交差部37を越えて、光導波路31b端へと出力される。また、光導波路32aから入力した信号光は、まず光導波路31a-31bとの交差部37を越えて、方向性結合器34b、35bから成る第2のマッハツェンダ光干渉計回路38bを、見かけ上、光導波路32a-32bに留まった状態で通過し、結局、光導波路32b端へと出力される。すなわち、光スイッチ要素全体としては、マトリックス光スイッチのオフ状態としてのクロス経路を実現できることになる。

【0031】ここで強調すべき点は、上記のオフ状態においては、方向性結合器34a、35aや34b、35bの結合率が理想的な50%値からずれても、クロス経路が実現できる点である。その理由は、2分の1波長すなわち位相に換算して180度相当の光路長差を持つ第1及び第2のマッハツェンダ光干渉計回路においては、2個の方向性結合器34aと35a、34b、35bとはそれぞれ逆位相で連結されるので、その結合作用を互いに打ち消し合い、見かけ上、方向性結合器が存在しないように作用するからである。したがって、本発明では、交差部37において、2本の光導波路の間に干渉が発生しない角度 $\theta$ で2本の光導波路31a-31bと3

2 a-3 2 bとを交差させさえすれば、方向性結合器3 4 a, 3 5 aや3 4 b, 3 5 bの結合率に依存せずに、高い消光比のクロス状態を実現することができる。

【0032】さらに、上記のオフ状態では、仮に第1のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 aに、2分の1波長の光路長差の設定誤差等の原因で、対角ポートへの僅かな結合が発生し光導波路3 1 a-3 1 bからバイパス光導波路3 3 a-3 3 bへ信号光が漏れ出しても、第2のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 bで対角ポートへの結合を阻止されるので、漏れ光が光導波路3 2 a-3 2 bへ紛れ込む余地は殆どない。すなわち、本発明における光スイッチ要素は2重の閥門により、オフ状態すなわちクロス状態での、光導波路3 1 a-3 1 bから光導波路3 2 a-3 2 bへの光漏れの発生を阻止し、高い消光比を維持できるのである。

【0033】薄膜ヒータ3 6 aに通電し、その下部の光導波路3 1 a-3 1 bの屈折率値を熱光学効果により僅かに増加させ、第1のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 aの実効光路長差が零になるように調節すると、2個の方向性結合器3 4 a, 3 5 aの結合率は相加するように作用するので、方向性結合器の結合率が仮に理想的な50%結合率に設定されていた場合には、第1のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 a全体としては見かけ上100%結合率状態となり、信号光は光干渉計回路を通過する際に光導波路を入れ替わって通過する。すなわち、光導波路3 1 a端に入力した信号光は、第1のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 aを通過する際にバイパス光導波路3 3 a-3 3 b側へと導かれる。

【0034】上述の薄膜ヒータ3 6 aへの通電に連動して、もう一方の薄膜ヒータ3 6 bにも通電し、その下部の光導波路3 2 a-3 2 bの屈折率を熱光学効果により僅かに増加させ、第2のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 bの実効光路長差が零になるように調節すると、2個の方向性結合器3 4 b, 3 5 bの結合率は相加され、方向性結合器の結合率が理想的な50%に設定されている場合には、第2のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 b全体としては見かけ上100%結合率状態となり、信号光は光干渉計回路を通過する際に光導波路を入れ替わって通過する。よって、第1のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 a側からバイパス光導波路を経由して第2のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 bへと導かれてきた信号光は、光導波路3 2 a-3 2 b側へ移行し、光導波路端3 2 bへと出力される。こうして、光スイッチ要素全体としてはオン状態として必要なバース経路に切り替わる。

【0035】方向性結合器3 4 a, 3 5 aの結合率が理想的な50%値からずれている場合には、光導波路3 1 a端からの信号光は第1のマッハツェンダ光干渉計回路3 8 aで100%バイパス経路に切り替わらず、交差部3 7を経て光導波路端3 1 bへと漏れ出す信号光成分が現れるが、この残留信号光は最終的には出力ポート2

a, 2 b, 2 c, 2 d以外(図8 A)の不用の出力側導波路から出射されるので、僅かな損失増を伴うものの、マトリックス光スイッチとしての消光比劣化には結びつかない。

【0036】ここで、再度強調すべき点は、従来のマトリックス光スイッチの場合、光スイッチ要素を構成するマッハツェンダ光干渉計回路は、オフ状態で見かけ上100%結合の状態にあるのに対し、本発明の光スイッチ要素を構成するマッハツェンダ光干渉計回路は、光スイッチ要素がオフ状態の際には2分の1波長相当の光路長差により、見かけ上0%結合状態にあることである。100%結合状態に比べて0%結合状態の方が波長依存性が緩やかであることが知られており、この点からも本発明は有利である。すなわち、実際の(4×4)マトリックス光スイッチにおいては、信号光は最大7個の光スイッチ要素を経由するが、そのうちの1個のオン状態を除いて6個はオフ状態にあるので、オフ状態の波長依存性が小さい本発明の光スイッチ要素の方がマトリックス光スイッチ全体としての波長依存性を緩和する上で有利なのである。本発明のマトリックス光スイッチの波長依存性が小さいことは、本発明のマトリックス光スイッチが製造誤差に強いことともに密接に関係している。

【0037】次に、この実施例1により具体的な製作手順について説明する。

【0038】本実施例1の(4×4)マトリックス光スイッチは、厚さ1mm、直径8インチのシリコンウエハ上に作製した。第1の工程は、シリコン基板上に図1 Bや図1 Cに示した断面構造を有する石英系ガラス単一モード光導波路をもつ光スイッチ要素を図8 Aに示したレイアウトで計16個一括形成する工程である。これは、四塩化シリコンや四塩化ゲルマニウム等のガラス形成原料ガスの火炎加水分解反応を利用した石英系ガラス膜の堆積技術と反応性イオンエッチングによるガラス膜の微細加工技術との公知の組合せにより行った。作製した光導波路のコア寸法は6μm×6μmであり、クラッド層2 1 bとの比屈折率差Δは0.75%とした。本実施例1の(4×4)マトリックス光スイッチは、この石英系ガラス光導波路を250μmピッチに8本並設した構造を基本としている。光スイッチ要素は、直線導波路と曲がり半径4mm前後の曲がり導波路とを基本に構成した。交差部の交差角度θは30度とした。2個の方向性結合器の間の実効光路長差は、フォトリソグラフィ工程により信号光波長1.3μmの半分の0.65μmに正確に設定した。石英系ガラスの屈折率値が1.45程度であることを勘案し、実際のマスクパターン上の導波路長差は0.65μm/1.45=0.45μmに設定した。

【0039】第2の工程は、上記の第1工程でシリコンウエハ上に作製した光導波路上の各光スイッチ要素の所定部分に、光位相シフタとしての薄膜ヒータを設置する工程である。これは、金属クロムを蒸着源とする真空蒸

着法により、厚さ $0.3\mu\text{m}$ 、幅 $50\mu\text{m}$ 、長さ $4\text{mm}$ に渡ってクロム薄膜を各々の光スイッチ要素上に蒸着することにより行った。4個の方向性結合器34a、35a、34b、35bと2個の薄膜ヒータ36a、36b及び交差部37含む光スイッチ要素の全長は、約 $16\text{mm}$ とした。

【0040】上記の工程を経てシリコンウエハ上に作製されたマトリックス光スイッチを $10\text{mm}\times 130\text{mm}$ の長方形にダイシングソーにより切り出し、シリコン基板下部には放熱板を設け、また、入出力光導波路には光ファイバアレイを接続し、薄膜ヒータには、給電リードを接続することにより、目的とするマトリックス光スイッチが完成した。給電すべき薄膜ヒータを適宜選択することにより、 $(4\times 4)$ スイッチ動作が確認された。スイッチ動作に必要な各薄膜ヒータの消費電力は $0.4$ ワット程度であった。各光スイッチ要素が2個の薄膜ヒータを含み、同時にオン状態として動作する光スイッチ要素の数は最大4個であるので、全消費電力は最大 $0.4\times 2\times 4=3.2$ ワット程度であった。マトリックス光スイッチとしての損失値は、光ファイバ接続損失を含めて $3\sim 4\text{dB}$ であり、またマトリックス光スイッチ全体としての消光比は、製造誤差により方向性結合器の結合比が $50\%\pm 10\%$ 程度と大きくずれても、 $25\text{dB}$ 程度より優れていた。

【0041】（実施例2）図2は、本発明のマトリックス光スイッチの実施例2としての $(8\times 8)$ マトリックス光スイッチの全体配置図である。図2において、21はシリコン(Si)基板、22a-22bは $8+8=16$ 本の石英系ガラス光導波路からなる導波路束であり、導波路束22a-22bの途上には15箇所の光スイッチ群(#1、#2、…、#15)が配置されている。これらのスイッチ群は順次1個、2個、…、7個、8個、7個、…、2個、1個、の光スイッチ要素を含んでいる。本配置図で特徴的なことは、光スイッチ群#2と#3の間、#4と#5の間、#6と#7の間、#7と#8の間、#8と#9の間、#9と#10の間、#11と#12の間、#13と#14の間が、それぞれ、 $90^\circ$ ないし $180^\circ$ 曲がりを有する導波路束23a、23b、23c、23d、23e、23f、23g、23hで連結されている点である。

【0042】換言すれば、曲がり導波路束を適宜用いて15個の光スイッチ群が限られた基板サイズ上につづら折りに配置されていることが特徴的である。

【0043】図3は、図2の光スイッチ群(#1、#2、…、#15)の配置説明図であり、導波路束22a-22bの途上にどのように光スイッチ要素配置されているかを示したものである。これらのスイッチ群は順次1個、2個、…、7個、8個、7個、…、2個、1個、の光スイッチ要素（図4において楕円印で象徴）を含んでいる。光スイッチ群#1の左端は8本の入力光導波路

1a、1b、1c、1d、1e、1f、1g、1hを含む導波路束22a-22b入りに連なっている。光スイッチ群#1と#2の間は直結されている、光スイッチ群#2と#3の間は曲がり導波路束23aで連結されている、等々であり、最後に光スイッチ群#15の右端は8本の出力光導波路2a、2b、2c、2d、2e、2f、2g、2hを含む導波路束22a-22b出口に導かれているのである。

【0044】図4は、図2、図3を構成する光スイッチ要素の平面図である。図1Aに示した光スイッチ要素の場合と同様に、方向性結合器34a、35aから成る第1のマッハツェンダ光干渉計回路と方向性結合器34b、35bから成る第2のマッハツェンダ光干渉計回路等から構成されているが、図1A、図1B、図1Cの場合と異なり、第1マッハツェンダ光干渉計回路38a領域では入力光導波路31a-31b側の光路長がバイパス光導波路33a-33b側より2分の1波長相当長く設定されバイパス光導波路側に薄膜ヒータ36aが設置され、また、第2のマッハツェンダ光干渉計回路38b領域では出力光導波路32a-32b側の光路長がバイパス光導波路33a-33b側より2分の1波長相当長く設定されバイパス光導波路側に薄膜ヒータ36bが設置されている。交差部37の交差角 $\theta$ は、図1Aと同様に $30^\circ$ とした。図4に示した光スイッチ要素の長さは、約 $20\text{mm}$ とした。

【0045】シリコンウエハ上に作製された $(8\times 8)$ マトリックス光スイッチは $80\text{mm}\times 80\text{mm}$ の四角状にダイシングソーにより切り出し、シリコン基板下部には放熱板が設け、また、入出力光導波路には光ファイバアレイを接続し、薄膜ヒータには給電リードを接続することにより、目的とするマトリックス光スイッチが完成した。給電すべき薄膜ヒータを適宜選択することにより、 $(8\times 8)$ スイッチ動作が確認された。スイッチ動作に必要な各薄膜ヒータの消費電力は $0.4$ ワット程度であった。同時にオン状態となる光スイッチ要素の数は最大8個であるので、全消費電力は最大 $0.4\times 2\times 8=6.4$ ワット程度であった。マトリックス光スイッチとしての損失値は、光ファイバ接続損失を含めて $6\sim 8\text{dB}$ 程度であり、また、マトリックス光スイッチ全体としての消光比は、製造誤差により方向性結合器の結合比が $50\%\pm 10\%$ 程度と大きくずれても、 $20\text{dB}$ 程度以上と良好であった。

【0046】さて、実施例2のマトリックス光スイッチの配置では、入力光導波路1hから入力した信号光を出力光導波路2hから取り出す場合には、信号光は光スイッチ要素を1回しか通過しないのに対し、入力光導波路1aから入力した信号光を出力光導波路2aから取り出す場合には15回も光スイッチ要素を通過することになり、各光スイッチ要素が一定の通過損失を派生する場合には、出力信号光レベルが経路によって変動することに



なり、場合によっては不都合が発生する。このような場合には、下記実施例の改善策をとることができる。

【0047】（実施例3）図5は、本発明の実施例3で採用した光スイッチ群の構成図である。実施例3は、図2、図3で説明した第2実施例と基本構造は同一であるが、光スイッチ群に光スイッチ要素Sに加えてダミー光スイッチ要素S<sub>D</sub>を配置している点が異なっている。ダミー光スイッチ要素は、図4の光スイッチ要素の方向性結合器34a、35a、34b、35bの結合率が0%になるように導波路間隔を数10μm程度に離し、かつ薄膜ヒータ36a、36bを省略したもので、常にオフ状態すなわちクロス経路状態を維持するものである。このようなダミー光スイッチ要素を加えるとマトリックス光スイッチの経路差に起因する光出力レベルの変動が緩和され、マトリックス光スイッチ全体としての損失値7.5～8dBであり、消光比は製造誤差により方向性結合器の結合比が50%±10%程度もずれても20dB以上が達成された。

【0048】図6は、つづら折り状に配置された図2のマトリックス光スイッチに適用可能な光スイッチ要素の変形例である。基本的な構成は図4の光スイッチ要素と同一であるが、図6の光スイッチ要素はその内部に90度曲がり部分を含み、例えば図2のコーナー部分23a、23b等までも有効に利用してマトリックス光スイッチをレイアウトする際に適用できる。このように、本発明を特徴づける光スイッチ要素はその基本機能を損なうことなく、基板面積を有効に利用する目的で適宜変形できる。

【0049】なお、以上の実施例1、2、3では、光スイッチ要素を構成する第1及び第2のマッハツェンダ光干渉計回路の短い側の光導波路上にそれぞれ薄膜ヒータ36aと36bが設けられていたが、長い光路長を持つ側にも補足的に薄膜ヒータを設置しておく、万が一、光路長差が製造上の事故でずれても対の薄膜ヒータのいずれか一方に軽く通電することにより補償できるメリットがあることを付記する。

【0050】また、2本の導波路の交差角を30度としたが、次にこの交差角の設定について考察する。

【0051】本発明では、光スイッチ要素内で2本の光導波路はクロストークを無視できる角度で交差する必要があるが、この適正角度は、導波路間の交差による光クロストークが-30dB以下になる角度と見なしてよい。用いる光導波路のコアクラッド間屈折率差によっても変化するが、一般に交差角が20度程度以上であれば、2本の光導波路間の光クロストークは、光の直進性により、実用上無視できる。上記実施例で採用した30度交差角ではクロストークは-35dB程度と小さい。この場合の交差部の交差損失は0.1dB程度と微小である。一般に交差部の損失とクロストークは、交差角が90度に近づくほど改善されるが、交差角を大きくすると曲線部

の占有面積が増え光スイッチ要素のサイズが大きくなる傾向にあるので、マトリックス光スイッチ所要性能や光導波路の許容曲げ半径等を勘案して決定することが望ましい。

【0052】また、上記実施例では信号光波長が1.3μmの場合を扱ったが、本発明の構成は、他波長、例えば1.55μm波長等にも適用できる。

【0053】これまでに本発明のマトリックス光スイッチが方向性結合器の製造誤差に対して有効であることを説明してきたが、その副次効果として、方向性結合器の偏波依存性に対しても強いことも指摘しておきたい。

【0054】また、上記の実施例ではシリコン基板上の石英系ガラス光導波路を基本とするマトリックス光スイッチについて構成、作用等を説明したが、マッハツェンダ光干渉計回路型の光スイッチ要素を構成し得る他材料、例えば、プラスチック光導波路やイオン拡散型ガラス光導波路、さらには電気光学効果を用いた光位相シフタを設置したニオブ酸リチウム系光導波路等にも、本発明を適用できることを付記する。

【0055】以上、本発明を実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更し得ることはいうまでもない。

【0056】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれば、マトリックス光スイッチを構成する光スイッチ要素を、互いに交差する入力光導波路と出力光導波路にバイパス光導波路を加えた3本の光導波路を基本として構成し、しかも、入力光導波路とバイパス光導波路とで2分の1光路長差の第1のマッハツェンダ光干渉計回路を構成し、出力光導波路とバイパス光導波路とでやはり2分の1光路長差の第2のマッハツェンダ光干渉計回路を構成することにより、オフ状態では、方向性結合器の結合率に依らず、信号光は、入力した光導波路に留まった状態で光スイッチ要素をクロス状態で通過することができる。

【0057】さらに、オフ状態で万が一、第1のマッハツェンダ光干渉計回路領域でバイパス光導波路に信号光が漏れ出しても、第2のマッハツェンダ光干渉計回路の存在により、出力光導波路への漏れ出しが殆ど阻止されるので光スイッチ要素は高い消光比を維持できる。したがって、方向性結合器等の製作精度が大幅に緩和され消光比の優れたマトリックス光スイッチを容易に提供することができる。

【0058】また、前記光スイッチ要素からなる本発明マトリックス光スイッチでは、偏波依存性や波長依存性も緩和される副次的な効果もある。

【0059】本発明のマトリックス光スイッチは、複数の信号光が行き交う光ファイバ通信網の構築などに多大の貢献をなすと期待される。

## 【図面の簡単な説明】

【図1 A】 本発明のマトリックス光スイッチの実施例1としての(4×4)マトリックス光スイッチを構成する平面図、

【図1 B】 図1 Aにおける線分A A'に沿った拡大断面図、

【図1 C】 図1 Aにおける線分B B'に沿った拡大断面図、

【図2】 本発明のマトリックス光スイッチの実施例2としての(8×8)マトリックス光スイッチの全体配置図、

【図3】 図2の実施例2に対応する各光スイッチ群の構成説明図、

【図4】 図3のマトリックス光スイッチを構成する光スイッチ要素の構造説明図、

【図5】 本発明の実施例3における光スイッチ群の構成説明図、

【図6】 本発明のマトリックス光スイッチを構成する光スイッチ要素の一変形例図、

【図7】 本発明の対象となる従来のマトリックス光スイッチの構成概念図、

【図8 A】 従来の(4×4)マトリックス光スイッチ構成例の全体平面図、

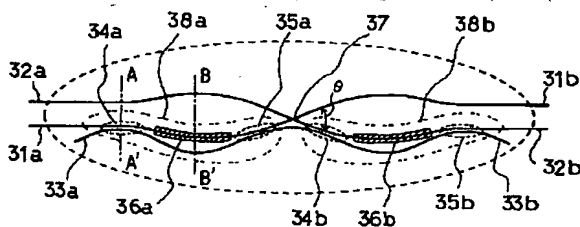
【図8 B】 従来の(4×4)マトリックス光スイッチ構成例の光スイッチ要素拡大説明図。

## 【符号の説明】

1 a, 1 b, 1 c, 1 d, 1 e, 1 f, 1 g, 1 h…入力光導波路、2 a, 2 b, 2 c, 2 d, 2 e, 2 f, 2 g, 2 h…出力光導波路、S 0 0, …, S 3 3…光スイッチ要素、3…シリコン基板、4 a-4 b…光導波路束、7 1 a, 7 1 b, 7 2 a, 7 2 b…石英系ガラス光導波路、7 3 a, 7 3 b…方向性結合器、7 4 a, 7 4 b…薄膜ヒータ(光位相シフタ)、2 1…シリコン基板、2 1 b…石英系ガラスクラッド層、3 1 a-3 1 b…石英系ガラス入力光導波路、3 2 a-3 2 b…石英系ガラス出力光導波路、3 3 a-3 3 b…石英系ガラスバイパス光導波路、3 4 a, 3 5 a, 3 4 b, 3 5 b…方向性結合器、3 6 a, 3 6 b…薄膜ヒータ(光位相シフタ)、3 7…交差部、3 8 a…第1マッハツェンダ光干渉計回路、3 8 b…第2マッハツェンダ光干渉計回路、# 1, # 2, …, # 1 5…光スイッチ群、2 2 a-2 2 b…光導波路束、2 3 a, 2 3 b, 2 3 c, 2 3 d, 2 3 e, 2 3 f, 2 3 g, 2 3 h…9 0度ないし1 8 0度曲がり導波路束構造、S…光スイッチ要素、S<sub>D</sub>…ダミー光スイッチ要素。

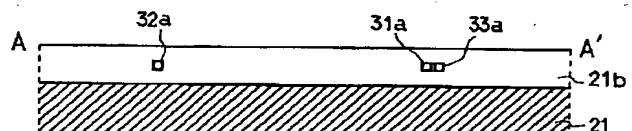
【図1 A】

図1A



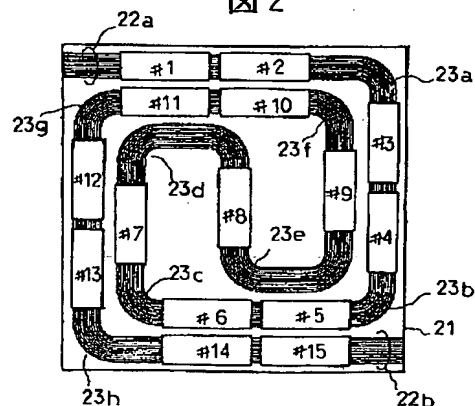
【図1 B】

図1B



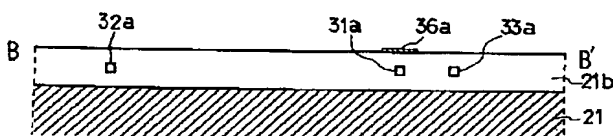
【図2】

図2



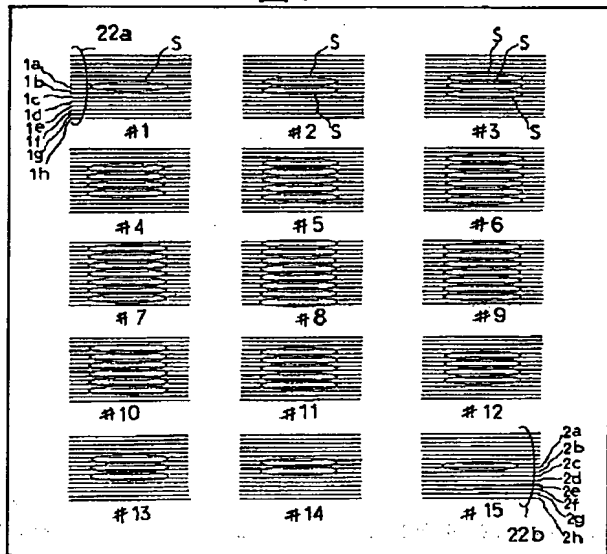
【図1 C】

図1C



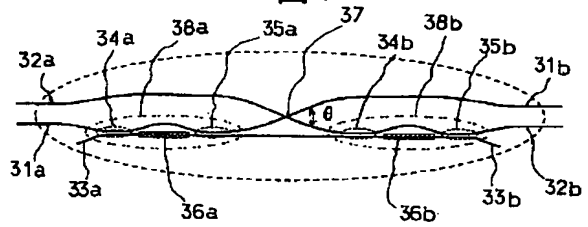
【図3】

図3



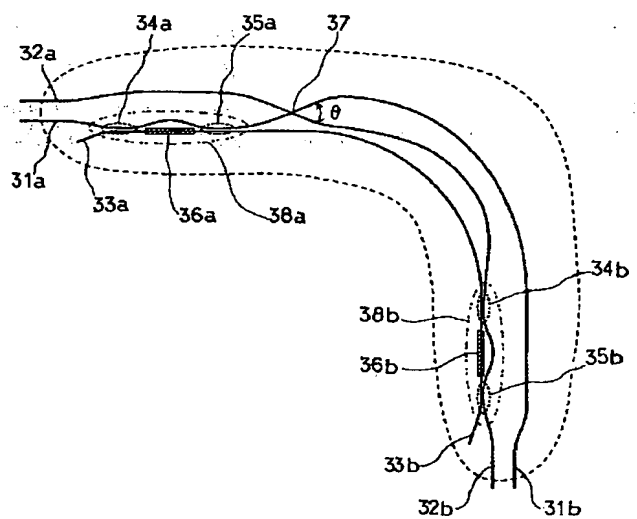
【図4】

図4



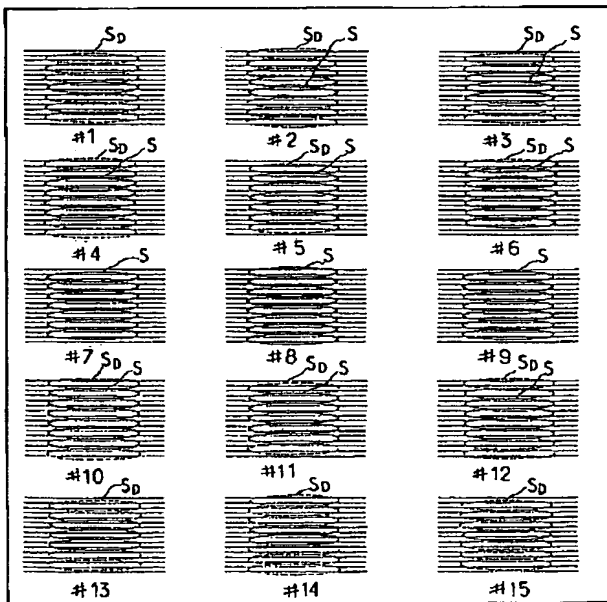
【図6】

図6



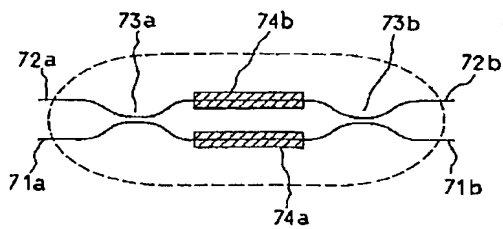
【図5】

図5



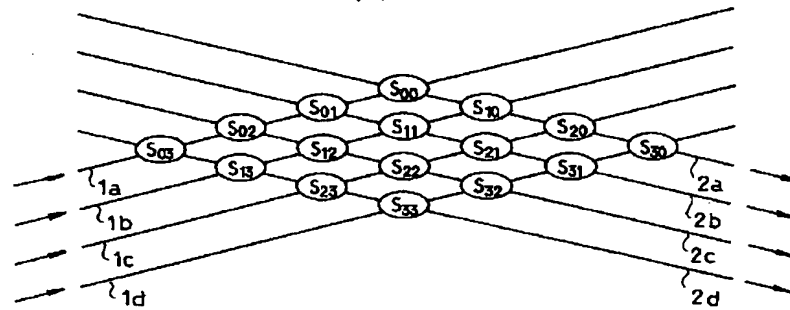
【図8B】

図8B



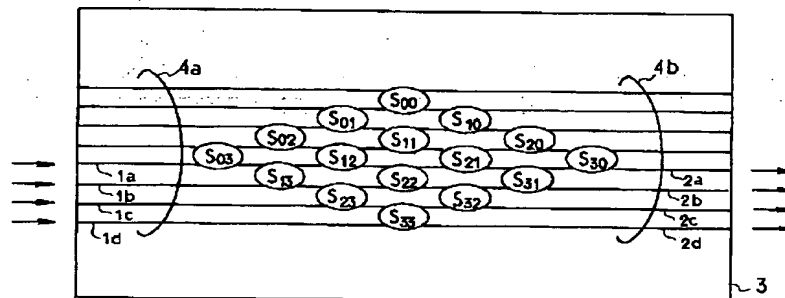
【図7】

図7



【図8A】

図8A



フロントページの続き

(72) 発明者 加藤 勝己  
 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号  
 日本電信電話株式会社内

(58) 調査した分野 (Int. Cl. 7, D B 名)

G02F 1/29 - 1/313

G02B 6/12 - 6/14

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**